

М.И.БАРАНОВ, докт.техн.наук; **Г.М.КОЛИУШКО**, канд.техн.наук;
В.И.КРАВЧЕНКО, докт.техн.наук; **О.С.НЕДЗЕЛЬСКИЙ**,
М.А.НОСЕНКО; НТУ «ХПИ»

МОЩНЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ МАЛОГАБАРИТНЫЙ ДВУХЭЛЕКТРОДНЫЙ ВОЗДУШНЫЙ РАЗРЯДНИК ГЕНЕРАТОРА ТОКА МОЛНИИ

Описано конструкцію і технічні характеристики створеного потужного високовольтного малогабаритного двоелектродного повітряного розрядника атмосферного тиску, використовуваного в генераторах проміжної і тривалої складових повного струму блискавки.

The design of performance data of created high-power high-voltage small-sized two-electrode air dischargers of atmospheric pressure which is used in generators of intermediate and long-term components of full current of lightning are described.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальной научно-технической задачей в области высоковольтной импульсной техники (ВИТ) является та, которая связана с разработкой, созданием и практическим применением в электроэнергетике, авиационной и ракетно-космической технике мощных генераторов тока искусственной молнии. Данные генераторы используются для проведения натурных испытаний объектов указанной техники на электромагнитную совместимость и стойкость к воздействию имитируемых ими грозовых разрядов. Как известно, имитируемый полный ток молнии во временной развертке должен содержать следующие основные компоненты [1-4]: импульсную, промежуточную, длительную и повторную импульсную составляющие. Каждая из этих компонент характеризуется своими нормированными амплитудно-временными параметрами (АВП). Так, если импульсная составляющая тока молнии (компонента – А) имеет нормированную амплитуду 200 кА (при длительности в 500 мкс и интеграле тока $2 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$), его промежуточная составляющая (компонента – В) характеризуется средним током в 2 кА (при длительности в 5 мс и переносимом заряде до 10 Кл), то длительная составляющая тока молнии (компонента – С) обладает амплитудой до 800 А (при длительности до 1000 мс и переносимом заряде до 200 Кл), а повторная импульсная составляющая (компонента – D) характеризуется амплитудой в 100 кА (при длительности в 500 мкс и интеграле тока $0,25 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}$) [1-3]. Из приведенных выше АВП основных компонент полного тока молнии видно, что моделирующее их высоковольтное электрофизическое оборудование в своем составе должно иметь ряд мощных емкостных (индуктивных) накопителей электрической (магнитной) энергии с различными электрическими парамет-

рами, способных в требуемой последовательности разряжаться на испытываемый технический объект и формировать на нем указанные составляющие тока молнии с заданными АВП. Эти мощные накопители энергии (МНЭ) и определяют в области ВИТ стоимость генераторов соответствующих составляющих полного тока молнии. В 2007 году в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» был разработан и создан «в металле» на экспериментальной базе института на основе МНЭ конденсаторного типа высоковольтный испытательный комплекс из пяти мощных генераторов тока, способных на общей активно-индуктивной нагрузке (с активным сопротивлением до 0,05 Ом и индуктивностью до 1 мкГн) одновременно и синхронно генерировать согласно требованиям [1-4] все основные составляющие (A , B , C и D токовые компоненты плюс дополнительную длительную токовую составляющую C^* со средним током в 400 А и временем его протекания до 50 мс) полного тока молнии.

Целью данной статьи является краткое описание конструкции и технических характеристик мощного малогабаритного воздушного двухэлектродного разрядника атмосферного давления на 5 кВ типа ММВР-5, используемого в сооруженных нами генераторах промежуточной (компонента – B) и длительных (компоненты – C и C^*) составляющих полного тока молнии.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ МОЩНОГО РАЗРЯДНИКА ТИПА ММВР-5 В ГЕНЕРАТОРЕ ТОКА МОЛНИИ

На рис. 1 приведена электрическая схема включения мощного малогабаритного воздушного разрядника на 5 кВ типа ММВР-5 в разрядной цепи генератора с МНЭ конденсаторного типа, предназначенного для формирования на RL -нагрузке (например, в испытываемом плоском образце металлической обшивки летательного аппарата) компоненты – C тока молнии.

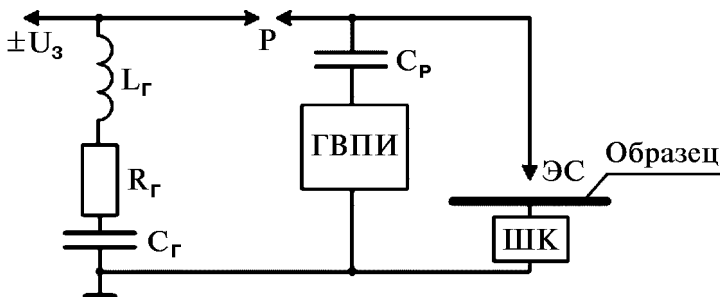


Рисунок 1 – Электрическая схема включения в разрядной цепи генератора длительной составляющей (компоненты – C) полного тока молнии мощного малогабаритного воздушного двухэлектродного разрядника P типа ММВР-5

Согласно рис. 1 МНЭ конденсаторного типа генератора длительной составляющей тока молнии (емкостью $C_r = 45,36$ мФ, активным сопротивлени-

ем $R_L = 4,74$ Ом и индуктивностью $L_L = 11,43$ мГн) после своего заряда до высокого напряжения U_3 положительной (отрицательной) полярности, дальнейшего срабатывания двухэлектродного разрядника P (типа ММВР-5) в цепи генератора и электрического пробоя в воздушной электродной системе (ЭС) разряжается на испытываемый плоский образец металлической обшивки технического объекта (летательного аппарата) и формирует на нем соответствующую токовую C – компоненту грозового разряда. Срабатывание разрядника типа ММВР-5 и электрический пробой в воздушном промежутке ЭС при этом обеспечиваются одновременной подачей на них (разрядник и ЭС) от генератора поджигающих импульсов типа ГВПИ-100 [5] микросекундного импульса напряжения амплитудой до 100 кВ. Для развязки генератора ГВПИ-100 со схемой МНЭ в его электрической цепи использован разделительный конденсатор $C_P = 180$ пФ на 120 кВ, собранный из 12 последовательно соединенных дисковых керамических емкостей типа КВИ-3-2200пФ на 10 кВ [6].

Отметим, что мощный генератор длительной составляющей тока молнии, включенный в схему на рис. 1, содержит 324 параллельно соединенных при помощи плоской медной ошиновки высоковольтных импульсных конденсаторов типа ИМ2-5-140 на номинальное напряжение ± 5 кВ с суммарной номинальной запасаемой энергией в 567 кДж. Для аварийной защиты такого большого количества конденсаторов типа ИМ2-5-140, в случае электрического пробоя одного из них в режимах их заряда или разряда, на их высоковольтных выводах были установлены омические сопротивления, набранные из высоковольтных графито-керамических объемных постоянных резисторов типа ТВО-60-100 Ом (по одному резистору на каждый вывод конденсатора).

3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ МОЩНОГО РАЗРЯДНИКА ТИПА ММВР-5

На рис. 2 представлен общий вид мощного двухэлектродного воздушного разрядника типа ММВР-5 на номинальное напряжение ± 5 кВ. Данный разрядник содержит два графитовых электрода прямоугольной конфигурации с размерами поперечного сечения 25×32 мм² и длиной 63 мм. Эти электроды на своих краях имеют по две гибких параллельно соединенных медных шины $\varnothing 4$ мм, подключаемых с одной стороны к цепи МНЭ конденсаторного типа, а с другой стороны – к генератору ГВПИ-100 и ЭС с испытываемым металлическим образцом обшивки технического объекта. При выполнении указанных электродов разрядника типа ММВР-5 нами были использованы элементы токосъемных щеток от мощной электрической машины. Графитовые электроды при помощи латунных хомутов крепятся к плоским алюминиевым щекам толщиной 3 мм с болтовыми соединениями М10, служащими для подключения разрядника типа ММВР-5 в разрядную цепь генератора длительной (промежуточной) составляющей полного тока мол-

нии. Алюминиевые щеки разрядника покоятся на литых фигурных изоляторах высотой 76 мм и наибольшим диаметром 50 мм, закрепленных на гетинаксовом плоском основании разрядника толщиной 10 мм. Габаритные размеры разрядника типа ММВР-5 составляют: высота – 125 мм; ширина – 160 мм; длина-250мм. Воздушный зазор между плоскими торцами графитовых электродов может легко регулироваться в зависимости от уровня постоянного зарядного напряжения U_z конденсаторов типа ИМ2-5-140, длины воздушного промежутка в ЭС и выходного поджигающего импульсного напряжения от генератора ГВПИ-100 в пределах от долей до нескольких миллиметров (рабочие значения этого зазора при экспериментальной проверке работы разрядника типа ММВР-5 и выполнении с его помощью исследований по оценке молниестойкости плоских образцов металлической обшивки летательного аппарата составляли от 2 до 4 мм). Для внешнего контроля состояния рабочих поверхностей графитовых электродов внизу под ними на плоском гетинаксовом основании разрядника закреплена фторопластовая пластина толщиной 6 мм. Разрядник типа ММВР-5 закреплен на плоском массивном основании из СТЭФ-20 рабочего стола генератора полного тока молнии. Вес разрядника типа ММВР-5 не превышает 3 кг.



Рисунок 2 – Общий вид мощного высоковольтного малогабаритного воздушного двухэлектродного разрядника типа ММВР-5 на 5 кВ, обеспечивающего коммутацию разрядных цепей генераторов длительной и промежуточной составляющих полного тока молнии с переносимым ими суммарным электрическим зарядом не менее 210 Кл

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ РАБОТЫ МОЩНОГО РАЗРЯДНИКА ТИПА ММВР-5

На рис. 3 приведена осциллограмма длительной составляющей тока молнии (компоненты – C), получаемой в разрядной цепи МНЭ конденсаторного типа согласно рис. 1, коммутируемой разрядником типа ММВР-5. АВП данной токовой компоненты отрицательной полярности были зарегистрированы с помощью встроенного в непотенциальную («земляную») электрическую цепь генератора компоненты – C полного тока молнии и прошедшего государственную метрологическую аттестацию измерительного коаксиального малоиндуктивного шунта типа ШК-300, имеющего после своего входа активное сопротивление 0,185 мОм и два выхода с коэффициентами преобразования соответственно 5642 А/В (выход № 1) и 11261 А/В (выход № 2) [7], и цифрового осциллографа типа *Tektronix* TDS 1012. В соответствии с данными рис. 3 получаем, что амплитуда I_{mc} имитируемой компоненты – C созданным генератором тока молнии, в состав которого входит рассматриваемый разрядник типа ММВР-5, при $U_3 = -4$ кВ составляет: $I_{mc} = 136 \cdot 10^{-3} \times 5642 = 768$ А. Видно, что длительность сформированной аperiodической компоненты – C примерно равна 0,9 с, а ее максимум соответствует времени t_m , равном около 8,8 мс (это значение t_m было определено при временной развертке в 5 мс).

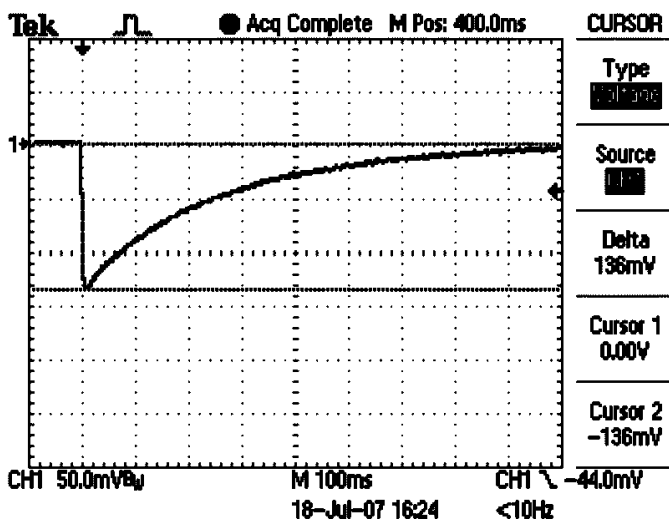


Рисунок 3 – Осциллограмма коммутируемого разрядником типа ММВР-5 мощного импульса длительной компоненты тока молнии временной формы 8,8мс/900мс отрицательной полярности с амплитудой 0,768 кА и переносимым электрическим зарядом в 196 Кл

Расчетная оценка по осциллограмме на рис. 3 электрического заряда q_c , переносимого при этом длительной составляющей полного тока молнии, показала, что его численное значение оказывается приблизительно равным $q_c = 196$ Кл. Это количество электричества в генерируемой с использованием разрядника типа ММВР-5 компоненте – С полного тока молнии полностью соответствует действующим международным требованиям [1-4], касающимся моделирования грозового разряда и применяемым при натурных испытаниях различных технических объектов на молниестойкость. Отметим, что рассматриваемый разрядник типа ММВР-5 в описанной выше электрической схеме генератора длительной составляющей тока молнии выдержал без повреждений не менее 150 срабатываний МНЭ конденсаторного типа с единичной и каждый раз запасаемой в нем электрической энергией, равной около 363 кДж.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан, создан и апробирован в реальной работе в составе генераторов длительной и промежуточной составляющих имитированного полного тока молнии мощный малогабаритный двухэлектродный воздушный разрядник атмосферного давления на 5 кВ типа ММВР-5. Апробация разрядника типа ММВР-5 на опытных образцах металлической (композиционной) обшивки летательного аппарата подтвердила его работоспособность при синхронной коммутации им токовых В и С компонент молнии с переносимыми суммарным электрическим зарядом не менее 210 Кл.

Список литературы: 1. *SAE ARP 5412/ED-84*. Нормативный документ «Рекомендуемая практика авиационно-космических работ. Идеализированные составляющие внешнего тока». США, 1985. – С. 30-39. 2. *SAE APP 5416/ED-84*. Нормативный документ «Рекомендуемая практика авиационно-космических работ. Условия воздействия молнии на летательные аппараты и соответствующие формы испытательных сигналов». США, 1997. – 145 с. 3. *КТР-ВВФ/ДО-160Д/ЕД-14Д*. Квалификационные требования «Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. Требования, нормы и методы испытаний». Раздел 23.0. «Прямое воздействие молнии». Россия, 2004. – С. 258-273. 4. *ГОСТ 30585-98*. Стойкость к воздействию грозовых разрядов. Технические требования и методы испытаний / Руководитель разработки – В.И. Кравченко. – Киев: Госстандарт Украины, 1998. – 27 с. 5. *Бочаров В.А., Печкарь И.Р.* Генератор высоковольтных пусковых импульсов // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: Электроэнергетика и автоматизация энергоустановок. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 1981. – Вып. 9. – С. 39-41. 6. *Баранов М.И.* Сравнительный анализ работы двух схем построения генераторов высоковольтных поджигающих импульсов напряжения мощных электрофизических установок // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХПБ». – 2006. – № 37. – С. 100-106. 7. *Дныщенко В.Н., Еремеев В.О., Недзельский О.С., Понуждаева Е.Г.* Измерительный шунт ШК-300 для определения амплитудно-временных параметров имитированного импульса тока молнии // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХПБ». – 2007. – № 20. – С.75-79.

Поступила в редколлегию 15.11.2007